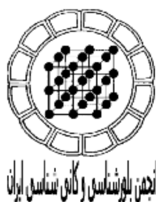
مجله
بلورشناسی
و کانی شناسی
ایران

**مقاله پژوهشی**

سال بیست و نهم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۰، از صفحهٔ ۳۵ تا ۴۸




# بررسی کانی‌سازی، دگرسانی و میانبارهای سیال ذخیره مس تخت‌گنبد (شمال‌شرق سیرجان، جنوب‌شرق ایران)

**محمد صالحی تینونی[۱و۲]، علی عابدینی[*۲]، علی‌اصغر کلاگری[۳]**

*۱- سازمان زمین‌شناسی کشور، اداره کل جنوب شرق کشور، کرمان، ایران*

*۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران*

*۳- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران*

(دریافت مقاله: ۹۹/۱/۲۰، نسخه نهایی: ۹۹/۳/۱۲)

**چکیده:** ذخیره مس تخت‌گنبد در ۶۳ کیلومتری شمال‌شرق شهرستان سیرجان، جنوب‌شرق ایران واقع است. کانی‌سازی درونزاد در این ذخیره به شکل رگه-رگچه‌ای داربستی و رگه‌های ضخیم کوارتزی رخ داده است که توسط توده میکروگرانودیوریتی الیگو-میوسن و مواد آذرآواری (به طور عمده توف با ترکیب حدواسط) ائوسن میزبانی می‌شود. رگه- رگچه‌های داربستی دربردارنده سه نسل کانی‌سازی (۱) کوارتز + مگنتیت ± کالکوپیریت، (۲) کوارتز + کالکوپیریت + پیریت ± مگنتیت و (۳) کوارتز + پیریت + کالکوپیریت هستند. دگرسانی فیلیک بیشتر در سنگ‌های دیواره پیرامون رگه- رگچه‌های داربستی گسترش یافته است. کانی‌سازی برونزاد در این ذخیره با جانشینی سولفیدهای آهن‌دار توسط هماتیت و گوتیت مشخص می‌شود. همچنین، تشکیل مالاکیت، آزوریت و مس طبیعی در جریان تخریب سولفیدهای درونزاد آهن و مس در شرایط اکسایشی رخ داده است. بررسی میانبارهای سیال در بلورهای کوارتز موجود در رگه-رگچه‌های کوارتزی نشان داده که آنها بیشتر از نوع مایع+گاز+جامد (L+V+S)، مایع+گاز (L+V) و گاز+مایع (V+L) بوده و دارای دمای همگنی در گستره ۱۴۶ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۰٫۳۵ تا ۵۷٫۸ درصد وزنی معادل نمک طعام هستند. فازهای جامد شامل هالیت، سیلویت و کانی‌های تیره هستند. میانبارهای سیال مورد بررسی در رگه‌های کوارتزی ضخیم از نوع L+V بوده و دارای دمای همگنی در گستره ۲۰۷ تا ۳۴۴ درجه سانتی‌گراد و شوری ۰٫۳۵-۳٫۳۹ درصد وزنی معادل نمک طعام هستند. بر اساس نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال، جوشش سیال‌های ماگمایی عامل مؤثر در نهشت کانی‌های کانسنگی و باطله در رگه- رگچه‌های داربستی است. همچنین سردشدگی و آمیختگی سیال‌های جوی و ماگمایی علت نهشت کانی‌ها در رگه‌های ضخیم کوارتزی هستند. در کل، یافته‌های به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهند که روند تشکیل و تکامل سامانه گرمابی تخت‌گنبد بیشترین شباهت را به سامانه‌های مس پورفیری دارد.

**واژه‌های کلیدی:** *تخت‌گنبد؛ کمربند مس کرمان؛ کانی‌سازی؛ دگرسانی؛ میانبارهای سیال؛ مس پورفیری.*

## مقدمه

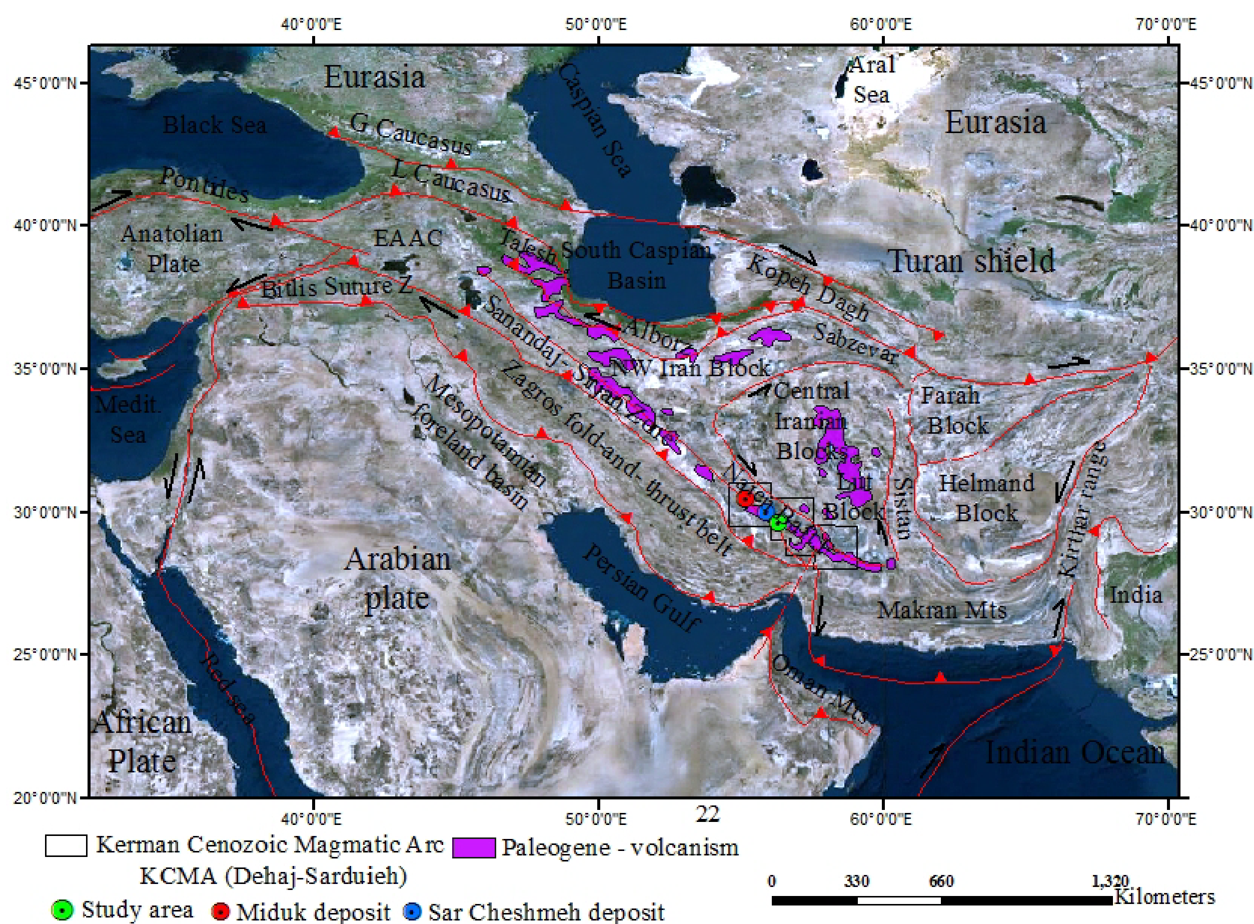
استان کرمان یکی از مناطق معدنی کشور به شمار می‌رود که غنی‌ترین بخش آن کمربند فلزایی مس کرمان یا کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان است که ذخایر بزرگی از جمله مس پورفیری سرچشمه (رفسنجان) و میدوک (شهر بابک) همراه با ذخیره تخت‌گنبد را در بر دارد [۱-۳] (شکل ۱). این کمربند به کمربند فلززایی دهج – ساردوئیه نیز معروف است [۴-۶]. کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان به طور عمده مجموعه سنگ-های آذرین خروجی ائوسن تا الیگوسن- کواترنر و نفوذی بیشتر الیگوسن تا میوسن را شامل می‌شود [۴-۷] (شکل ۲). شکل

*نویسنده مسئول، تلفن: ۳۲۹۷۲۱۳۴ (۰۴۴)، نمابر: ۳۲۷۷۶۷۰۷ (۰۴۴)، پست الکترونیکی: abedini2020@yahoo.com

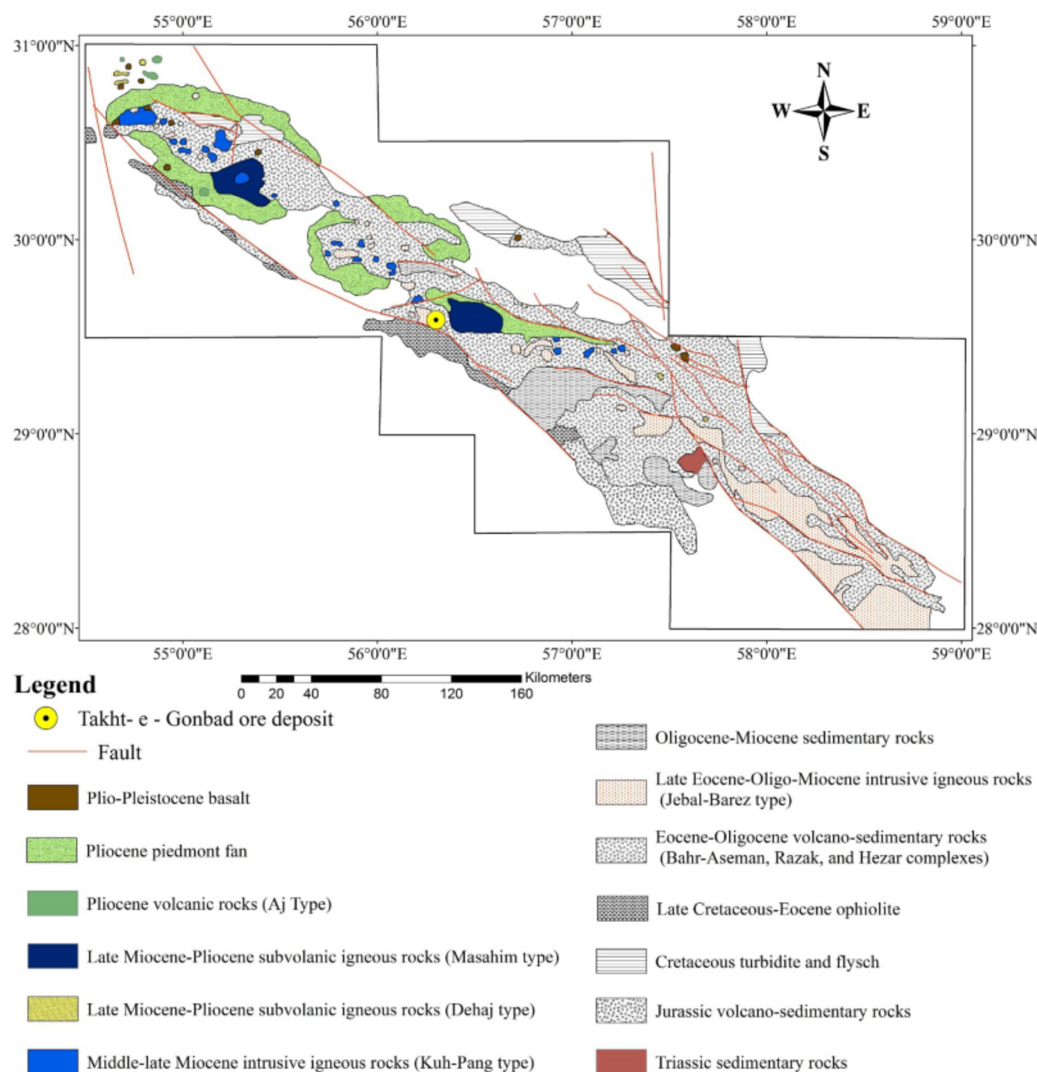

[ DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.4.1 ]
[ DOI: 10.52547/ijcm.29.1.35 ]

گیری این کمان ماگمایی در ارتباط با فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر خرد قاره ایران مرکزی است [۸، ۹]. عمده واحدهای آذرین خروجی در این کمان شامل بازالت، تراکی‌بازالت، آندزیت، تراکی‌آندزیت، داسیت و ریوداسیت، و سنگ‌های آذرین نفوذی شامل دیوریت، کوارتزدیوریت، کوارتزمونزونیت، گرانودیوریت و گرانیت هستند [۵، ۱۰]. ظهور سنگ‌های نفوذی و سیال‌های گرمابی برآمده از آن عامل شکل‌گیری ذخایر پورفیری و رگه‌ای با بیش از ۲۰۰ اثر کانی‌سازی در کمربند ماگمایی سنوزوئیک کرمان بوده است [۱۱، ۱۲]. ذخایر پورفیری موجود در ارتباط با استوک‌های گرانیتوئیدی نوع I بوده و سیال‌های مؤثر در کانی‌سازی این ذخایر دارای شوری و دمای بالا با خاستگاه ماگمایی بوده‌اند. ظهور دگرسانی‌هایی چون فیلیک در بسیاری از این ذخایر بیانگر ورود سیال‌های جوی به‌سامانه گرمابی در مراحل آخر تکامل سامانه است.

کانی‌سازی مس تخت‌گنبد (با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ″۰۴ '۱۸ °۵۹ و ″۱۳ '۳۵ °۲۹) از ذخایر حاضر در این کمربند است (شکل‌های ۱ و ۲) که در ۶۳ کیلومتری شمال‌شرق شهر سیرجان در استان کرمان واقع است. این کانی‌سازی نخستین بار توسط ندیمویچ [۱۱] بررسی شد. در چند سال اخیر پیجویی تفصیلی پیرامون کانی‌سازی توسط شرکت مس تخت‌گنبد سیرجان [۱۳] انجام شده و ذخیره قطعی حدود ۵۰ میلیون تن با عیار ۰/۳ تا ۰/۵ درصد مس برای آن تعیین شده است. این ذخیره اکنون به عنوان معدن تخت‌گنبد در حال بهره‌برداری است. در این پژوهش، بر اساس بررسی‌های کانی‌شناسی، بافت، دگرسانی و میانبارهای سیال، سازوکار نهشت کانسنگ‌ها و نوع کانی‌سازی در سامانه تخت‌گنبد ارزیابی شد.




**شکل ۱** نقشه پهنه‌های زمین‌ساختاری ایران به عنوان بخشی از کمربند کوهزادی آلپ - هیمالیا و موقعیت کمربند دهج - ساردوئیه (کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان، KCMA) بر محیط‌های آذرین پالئوژن، بر گرفته از مرجع [۲، ۳] با کمی تغییرات.




**شکل ۲** سنگ‌شناسی ساده شده کمربند ماگمایی سنوزوئیک کرمان [۱] که موقعیت ذخیره تخت گنبد در آن نشان داده شده است.

**زمین شناسی**

کانی‌سازی تخت‌گنبد در منطقه معدنی چهارگنبد (نقشه ۱,۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد [۱۴، ۱۵]) واقع است. زمین‌شناسی ناحیه‌ای این منطقه معدنی شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین، آذرآواری و جریان گدازه‌ای از نوع اشباع از سیلیس با ترکیب مافیک تا فلسیک با گرایش شبه تولئیتی- آهکی قلیایی است [۱]. این مجموعه شامل بازالت، آندزیت، تراکی‌آندزیت، ریوداسیت، توف و آگلومرا با میان لایه‌هایی از سنگ‌های رسوبی است [۴، ۵، ۱۴، ۱۶، ۱۷].

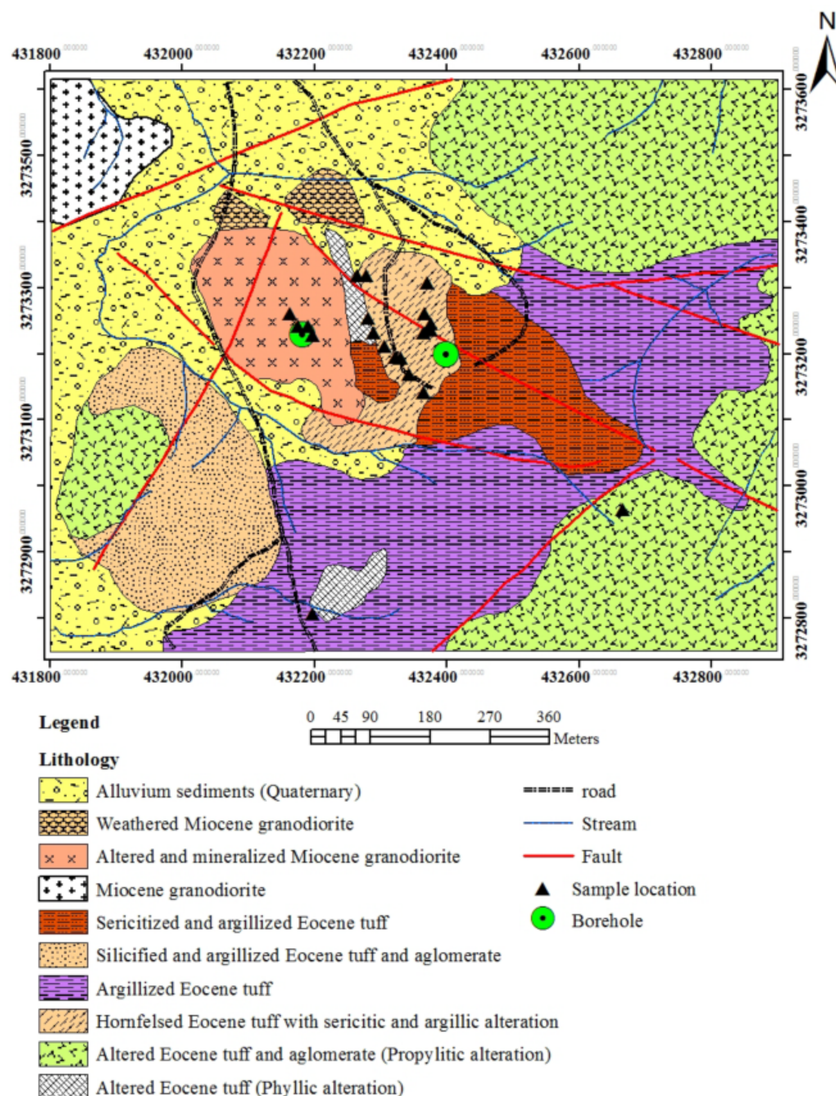
واحدهای سنگی میزبان دگرسانی و کانی‌سازی مس تخت-گنبد شامل سنگ‌های آذرآواری ائوسن از جمله بلور توف آندزیت، بلور توف داسیت و توف سنگی با میان لایه‌هایی از واحدهای رسوبی کربناتی و کنگلومرایی هستند. از مهمترین سنگ‌های میزبان می‌توان به توده نفوذی میکروگرانودیوریت-داسیت پورفیری میوسن اشاره نمود که بر واحدهای خروجی ائوسن اثر گذاشته است. به واسطه دگرگونی مجاورتی ناشی از این توده در بخش‌هایی، واحدهای آذرآواری (بیشتر توف) هورنفلسی شده‌اند. این توده نفوذی به احتمال بسیار عامل اصلی کانی‌سازی تخت‌گنبد است. سرشت نفوذی کانی‌سازی شده تخت‌گنبد و بسیاری از توده‌های نفوذی الیگوسن تا میوسن در منطقه معدنی چهارگنبد آهکی قلیایی نوع I بوده و به کمان آتش‌فشانی کرانه قاره‌ای ارومیه- دختر (ارومیه-بزمان) وابسته است [۱۶، ۱۷]. بر اساس بررسی‌های صحرایی، کانی‌سازی در ذخیره تخت گنبد به طور عمده از نوع رگه-


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.4.1 ]
[ DOI: 10.52547/ijcm.29.1.35 ]

رگچه‌ای داربستی بوده که توسط مناطق دگرسانی فیلیک (در عمق) و دگرسانی رسی- فیلیک (در مناطق سطحی) در بر گرفته شده است. رگه‌های ضخیم کوارتزی از دیگر نمودهای بسیار مشخص در منطقه کانی‌سازی و قطع کننده دگرسانی فیلیک است که به نظر می‌رسد که در مرحله بعدی کانی‌سازی نسبت به رگه- رگچه‌های کوارتزی شکل گرفته‌اند. در شکل ۳، نقشه زمین‌شناسی کانی‌سازی منطقه تخت‌گنبد نشان داده شده است.

## روش بررسی

این پژوهش در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی، پیمایش‌هایی به منظور شناسایی واحدهای سنگی و بررسی روابط آنها صورت گرفت. بر اساس بررسی‌های صحرایی، تعداد ۹۰ نمونه سنگی از رگه- رگچه‌های کانی‌سازی شده، بخش‌های دگرسانی و سنگ میزبان آنها جمع‌آوری شد. از بین آنها، تعداد ۵۰ نمونه برای بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانه-نگاری انتخاب شده و ۳۰ مقطع نازک و ۲۰ مقطع صیقلی تهیه و با میکروسکوپ نوری عبوری- بازتابی زایس مدل Axioplan2 در اداره کل سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی جنوب شرقی (کرمان) مطالعه گردیدند. برای بررسی دقیق دگرسانی‌های همراه با کانه‌زایی، تعداد ۱۰ نمونه با استفاده از پراش‌سنج پرتو ایکس (XRD) در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (کرج) تجزیه قرار شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده‌اند.




**شکل ۳** نقشه زمین‌شناسی منطقه کانی‌سازی تخت‌گنبد، برگرفته از مرجع [۱۳] با کمی تغییرات.


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.4.1 ]
[ DOI: 10.52547/ijcm.29.1.35 ]

**جدول۱** نتایج به دست آمده از پراش پرتو X (XRD) نمونه‌های پهنه دگرسانی ذخیره تخت گنبد. (H: هورنفلس، Po: پتاسیک، Pr: پروپیلیتیک، S: سیلیسی، Ph: فیلیک، و Ca: کربناتی شدن.)

| کانی | Tg-1.Pr | Tg-6.H | Tg-8.S | Tg-9.Ph | Tg-10.Ca | TH-4.Po | TH-10.Po | TH-11.Po | TL-7.Ph | TL-11.H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اورتوکلاز | | | | | | × | × | × | | |
| کوارتز | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| کلسیت | | × | × | × | × | | | | | |
| مسکوویت | | | | × | | | | | × | |
| اپیدوت | × | | | | | | | | | |
| ایلیت | | × | | × | | | | | × | |
| کلینوکلر | | | | | | | | | | × |
| آلبیت | | کم | | | | کم | کم | کم | | کم |
| آناتاز | | | | × | | | | | | |
| کائولینیت | × | | | | × | | | × | × | |
| دیکیت | | | | | | × | | | | |
| پیریت | × | | | | | | | | | |
| سیدریت | | | | | × | | | | × | |
| دولومیت | × | | | | × | | | | | |
| آنکریت | | | | | | | | | | |
| دیوپسید | | × | | | | | | | | × |
| آندزین | | × | | | | | | | | |
| مونت‌موریلونیت | | × | | | | | | | | |
| مگنتیت | | | × | | | | | × | | |
| کالکوپیریت | | | | × | | | | | | |
| پیریت | | | | × | | | | | × | × |
| هماتیت | | | × | | × | × | × | × | | |
| گوتیت | | | × | | | | × | | | |

برای بررسی میانبارهای سیال، تعداد ۸ نمونه مناسب از رگه‌های کوارتزی و رگه-رگچه‌های کوارتزی کانی‌سازی شده برداشت شدند. پس از تهیه مقاطع دوبر صیقل و بررسی‌های سنگ‌نگاری آنها، ۴ مقطع مناسب برای ریزدماسنجی میانبارهای سیال انتخاب شده و پارامترهای دمایی لازم با استفاده از دستگاه سرمایش و گرمایش Likam مدل THMS600 و میکروسکوپ نوری زایس در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران اندازه‌گیری شدند. نتایج این اندازه-گیری‌ها بر اساس روش مرجع [۱۸] در جدول ۲ ارائه گردیده است. واسنجی دستگاه در مرحله گرمایش تا دمای ۴۱۴ درجه سانتی‌گراد برابر با ۰٫۶± با ماده استاندارد نیترات سزیم و در مرحله سرمایش تا دمای $-94.3^{o}C$ برابر با ۰٫۲± با مایع استاندارد هگزان نرمال (ان هگزان) بود.

## نتایج و بحث

### دگرسانی

دگرسانی و کانه‌زایی متنوعی در منطقه ذخیره مس تخت‌گنبد رخ داده است که شامل اسکارنی شدن، دگرسانی پروپیلیتیک، فیلیک و رسی هستند. دگرسانی‌ها دارای پهنه‌بندی نمایانی هستند به طوری که دگرسانی فیلیک در مرکز سامانه و دگرسانی پروپیلیتیک در بخش لبه‌ای واقع است. دگرسانی فیلیک در بخش‌هایی در عرض دگرسانی رسی بوده است. اسکارنی شدن در فاصله دورتری نسبت به مرکز سامانه قرار دارد و در گستره دگرسانی پروپیلیتیک قابل مشاهده است.

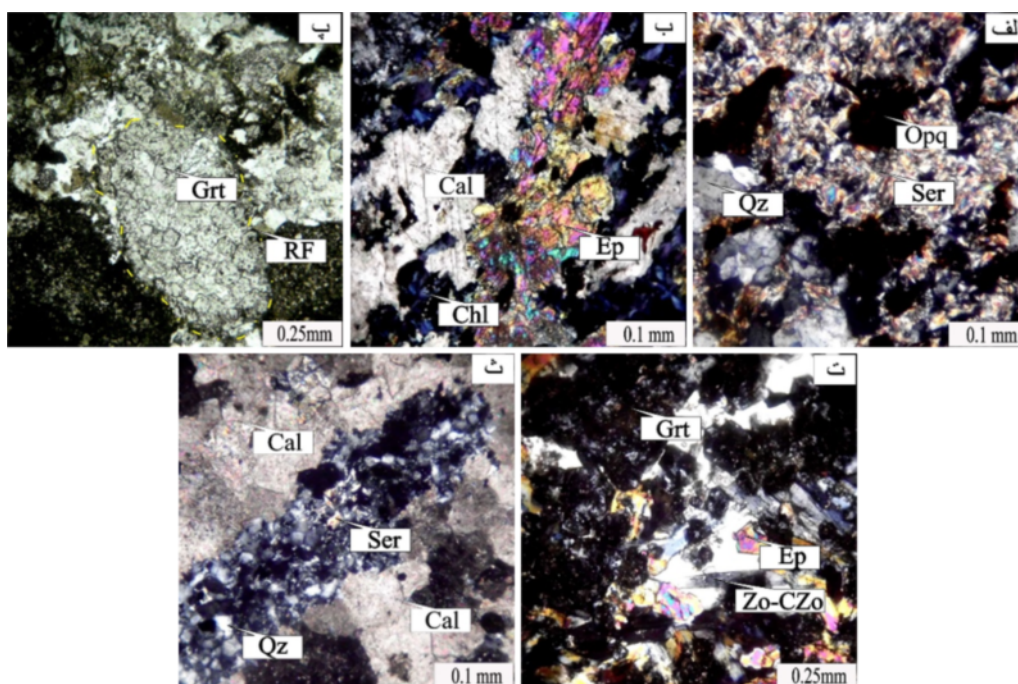
رخداد دگرسانی فیلیک با حضور پیریت فراوان (بیش از ۱۰٪)، سریسیت و کوارتز قابل تشخیص است (شکل ۴ الف). سنگ‌های میزبان این دگرسانی شامل واحدهای آذرآواری (توف و توف سنگی) و توده نفوذی میکروگرانودیوریت- داسیت پورفیری هستند. جانشینی سریسیت و کوارتز به جای فلدسپارها، و ترکیب آهن آزاد شده از ساختار کانی‌های تیره از جمله آمفیبول و بیوتیت با گوگرد اضافه شده به سامانه توسط سیال‌های گرمابی و تشکیل پیریت از عوامل اثرگذار در تشکیل پهنه دگرسانی فیلیک در سامانه کانی‌سازی تخت‌گنبد محسوب می‌شوند. به نظر می‌رسد که دگرسانی رسی همراه با دگرسانی فیلیک ناشی از محلول‌های برونزاد و تشکیل رس‌های ثانویه


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.4.1 ]
[ DOI: 10.52547/ijcm.29.1.35 ]

(دگرسانی سریسیت به کانی‌های رسی از جمله کائولینیت) باشد. این در حالی است که در برخی از مقاطع مورد بررسی و نتایج به دست آمده از تجزیه‌های XRD (جدول ۱)، کانی‌های رسی از جمله ایلیت در کنار پیریت اولیه قرار دارند که بیانگر اثر سیال‌های گرمابی در گسترش این پهنه دگرسانی است. بر این اساس، دگرسانی رسی سامانه مس تخت‌گنبد می‌تواند دارای دو خاستگاه درونزاد و برونزاد باشد. دگرسانی پروپیلیتیک در فاصله دورتری نسبت به مرکز سامانه قرار دارد که ناشی از دگرسانی پلاژیوکلاز به اپیدوت و کلسیت، هورنبلند به کلریت، اپیدوت و گاهی کلسیت است (شکل ۴ ب).

**جدول ۲** نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال در رگه- رگچه‌های داربستی و رگه‌های ضخیم کوارتزی سامانه کانی‌سازی تخت‌گنبد. (Th= دمای همگنی، $Tm_{(NaCl)}$= دمای ذوب نمک طعام، $Tm_{(ic)}$= دمای ذوب یخ، Te= دمای نخستین ذوب یخ (همگدازی)، n= تعداد میانبار مورد بررسی).

| نمونه | کانی | نوع میانبار | | Th(°C) | $Tm_{(NaCl)}$ (°C) | Te (°C) | $Tm_{ie}$ (°C) | شوری (wt% NaCl Eq) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FTG2-1 | کوارتز از رگه‌های کوارتزی ضخیم | اولیه | L-V (n = ۱۲) | ۲۸۰-۲۲۵ | - | -۲۱ تا -۳۰ | -۰٫۳ تا -۲ | ۳٫۳۹ – ۰٫۵۳ |
| FTG2-2 | کوارتز از رگه‌های کوارتزی ضخیم | اولیه | L-V (n = ۱۴) | ۳۴۴ - ۲۰۷ | - | -۲۱ تا -۳۰ | -۰٫۲ تا -۰٫۶ | ۱٫۰۵ – ۰٫۳۵ |
| FTL6-1 | کوارتز از رگه- رگچه‌های کوارتزی داربستی | اولیه | L-V-S (n = ۱۲) | ۳۶۴ – ۱۸۲ | ۳۶۲ - ۱۹۵ | - | - | ۴۲٫۶۵ – ۳۱٫۳۸ |
| FTL6-2 | کوارتز از رگه- رگچه‌های کوارتزی داربستی | اولیه | L-V-S (n = ۱۰) | ۳۸۳ - ۱۴۶ | ۴۸۶ - ۱۳۸ | - | - | ۵۷٫۸ – ۲۹٫۲ |
| | | | L-V (n = ۲) | ۳۴۵ - ۲۷۸ | - | - | -۱٫۵ | ۲٫۵۷ |
| | | | V-L (n = ۳) | ۴۵۰ - ۴۲۰ | - | - | -۲ | ۳٫۳۹ |




**شکل ۴** تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی‌ها و واحد اسکارنی ذخیره تخت گنبد: الف) دگرسانی فیلیک با حضور کوارتز (Qz)، سریسیت (Ser) و کانی‌های تیره (Op). (نور قطبیده متقاطع XPL)، ب) دگرسانی پروپیلیتیک با حضور کانی‌های اپیدوت (Ep)، کلریت (Chl) و کلسیت (Cal). (نور XPL)، پ) قطعه کربناتی اسکارنی شده با حضور گارنت (Grt) و قطعه سنگ کربناتی (RF). (نور قطبیده صفحه‌ای PPL)، ت) اسکارنی شدن با حضور گارنت (Grt)، اپیدوت (Ep) و زئیزیت- کلینوزئیزیت (Zo-Czo). (نور XPL) و ث) جانشینی دگرسانی فیلیک توسط دگرسانی کربناتی که در آن سریسیت (Ser)، کلسیت (Cal) و کوارتز (Qz) قابل تشخیص است. (نور XPL) نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۹] هستند.

از دیگر رخدادهای گرمابی در منطقه ذخیره تخت‌گنبد می‌توان به اسکارنی‌شدن (از نوع اسکارن بیرونی) اشاره کرد. به علت ضخامت کم لایه‌های کربناتی (با سن ائوسن)، گسترش توده‌های اسکارنی محدود بوده و با کانی‌سازی چندانی همراه نیست. در این منطقه، اسکارنی‌شدن افزون بر لایه‌های کربناتی، بر سنگ‌های تخریبی گنگلومرایی با قطعه‌های کربناتی نیز اثر داشته است (شکل ۴ پ). عمده کانی‌های شکل گرفته در توده‌های اسکارنی شامل گارنت، زوئیزیت، کلینوزوئیزیت و کلسیت هستند (شکل ۴ ت) که نشانگر اضافه‌شدن سیلیس توسط سیال گرمابی به سامانه است [۲۰]. دگرسانی کربناتی آخرین دگرسانی رخ داده همراه سامانه تخت‌گنبد است، به طوری که بر سایر دگرسانی‌ها در بسیاری از بخش‌ها اثر گذاشته است. این دگرسانی با حضور کلسیت و دولومیت مشخص می‌شود (شکل ۴ ث). نکته قابل توجه حضور یا نبود حضور دگرسانی پتاسیک در این ذخیره است. نتایج پراش پرتو X (XRD) در یک تجزیه عمومی بیانگر حضور اورتوکلاز به عنوان یکی از کانی‌های دگرسانی پتاسیک [۲۱] در بخش‌های عمیق‌تر کانی‌سازی تخت‌گنبد است. با این حال، شناسایی نشدن اورتوکلاز و بیوتیت ثانویه در بررسی‌های میکروسکوپی وجود دگرسانی پتاسیک در این ذخیره را در هاله‌ای از ابهام می‌گذارد.

**کانی‌سازی**

کانی‌سازی درونزاد در منطقه تخت‌گنبد به طور عمده به صورت رگه- رگچه‌ای کوارتزی با ساخت و بافت داربستی رخ داده (شکل ۵ الف) که ناشی از تزریق چندمرحله‌ای محلول‌های گرمابی کانی‌ساز است. افزون بر این، رگه‌های سیلیسی با ضخامت گاهی تا ۱٫۵ متر سایر رگه- رگچه‌های کوارتزی را قطع می‌نمایند و ظاهری از ساخت داربستی را در منطقه ذخیره نشان می‌دهند (شکل ۵ ب). از دیگر رگه- رگچه‌های شکل گرفته در ارتباط با سامانه گرمابی تخت‌گنبد می‌توان به رگه- رگچه‌های کربناتی (کلسیت و دولومیت) دربردارنده سولفید (کالکوپیریت) اشاره نمود (شکل ۵ پ) که آخرین نمود سیال های گرمابی در این سامانه کانی‌سازی هستند. ضخامت رگه- رگچه‌های کانی‌سازی شده، چه کوارتزی و چه کربناتی، از یک میلی‌متر تا چند سانتی‌متر متغیر است.

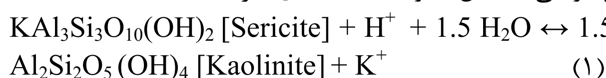
رگه-رگچه‌های کوارتزی در گستره پهنه دگرسانی فیلیک حضور دارند که با توجه به روابط پاراژنزی، می‌توان آنها را به ۳ نسل مجزا تقسیم نمود. این سه نسل عبارتند از (۱) رگچه‌های کوارتز + مگنتیت ± کالکوپیریت (شکل ۵ ت)، (۲) رگه-رگچه‌های کوارتز + کالکوپیریت + پیریت ± مگنتیت (شکل ۵ ث) و (۳) رگه-رگچه‌های کوارتز + پیریت + کالکوپیریت (شکل ۵ ج). افزون بر این، بر اساس بررسی‌های حسینی و همکاران [۲۲] مولیبدنیت نیز به عنوان یکی از کانی‌های شاخص در رگه-رگچه‌های کوارتزی کانی‌سازی شده در این ذخیره معرفی شده است. این در حالی است که کانی مولیبدنیت در این پژوهش دیده نشد. نسل‌های ۱، ۲ و ۳ رگه- رگچه‌های کوارتزی در کانی‌سازی تخت‌گنبد به ترتیب مشابه رگه-رگچه‌های نوع A، B و D معرفی شده در ذخایر پورفیری مس [۲۳، ۲۴] هستند. رگه‌های کوارتزی ضخیم (تا ۱٫۵ متر) از دیگر پدیده‌های گرمابی در سامانه کانی‌سازی تخت‌گنبد هستند. این رگه‌ها پهنه‌های دگرسانی فیلیک و رگه- رگچه‌های کوارتزی را قطع نموده‌اند و در بخش‌هایی دربردارنده مس طبیعی همراه هستند (شکل ۶ الف). رخداد مس طبیعی به احتمال بسیار همزاد با رگه‌ها نبوده و ممکن است ناشی از فرآیندهای برونزاد بر کانی-های سولفیدی اولیه مس از جمله کالکوپیریت باشد. حضور بافت و ساخت رگه-رگچه‌ای داربستی، تشکیل رگه-رگچه‌های نوع A، B و D، تشکیل مگنتیت، کالکوپیریت و پیریت همزمان (حضور بافت درهم رشدی) با شکل‌گیری رگه-رگچه‌های کوارتزی که ویژگی‌های بارز ذخایر پورفیری هستند [۲۵- ۲۸]، در سامانه کانی‌سازی تخت گنبد دیده می‌شوند.

از دیگر نمودهای کانی‌سازی در منطقه تخت‌گنبد می‌توان به کانی‌سازی به نسبت گسترده برونزاد اشاره نمود. از جمله آثار فرآیندهای برونزاد می‌توان به جانشینی هماتیت و گوتیت به جای کانی‌های سولفیدی آهن‌دار اولیه (شکل ۶ ب)، شکل-گیری کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و جانشینی سولفیدهای ثانویه مس مثل بورنیت به جای کالکوپیریت اشاره کرد (شکل ۶ پ). با وجود حضور گسترده کانی‌های برونزاد در رخنمون‌های سطحی پهنه‌های کانه‌سازی شده درونزاد، وجود بقایای کانی‌های سولفیدی (کالکوپیریت و پیریت) اولیه به صورت جزایر احاطه شده با کانی‌های ثانویه برونزاد در منطقه کانی‌سازی برونزاد بیانگر نابالغ بودن کلاهک آهنی (گوسان) در گستره کانی‌سازی تخت‌گنبد است.

کانی‌های رسی از جمله کائولینیت از دیگر فرآورده‌های هوازدگی در منطقه برونزاد تخت‌گنبد بوده که ناشی از دگرسانی به جای سریسیت و ایلیت در پهنه دگرسانی فیلیک و

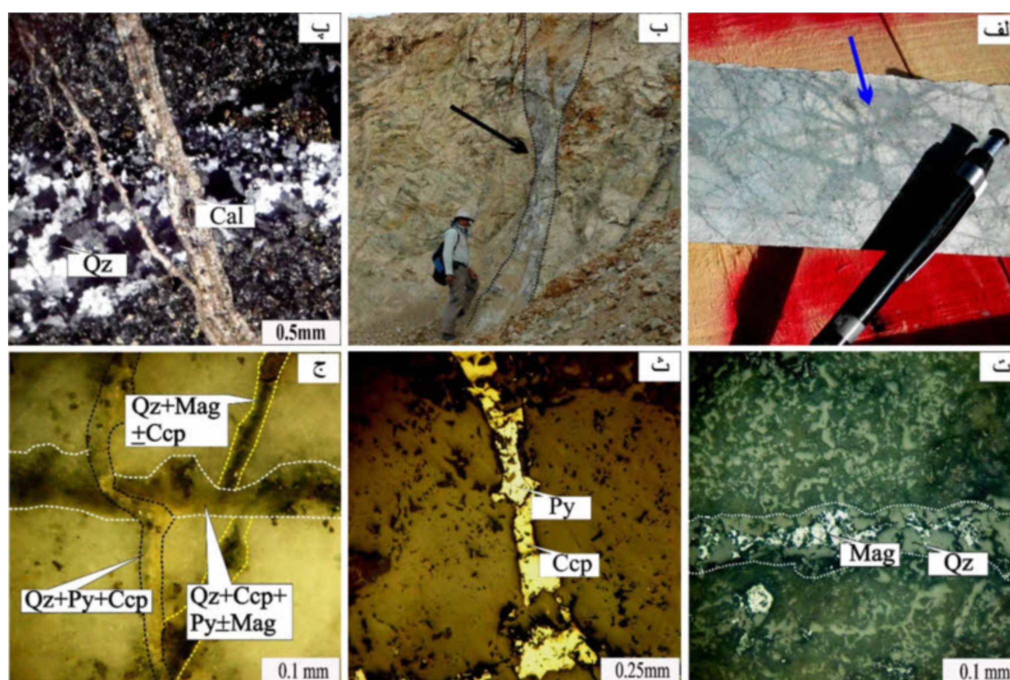

[ DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.4.1 ]
[ DOI: 10.52547/ijcm.29.1.35 ]

رسی گرمابی هستند. تشخیص کائولینیت بر اساس نتایج XRD صورت گرفته است. به واسطه فرآیندهای برونزاد، پیوند گوگرد و آهن در ساختار پیریت (فراوان‌ترین سولفید اولیه در پهنه دگرسانی فیلیک) شکسته می‌شود و گوگرد آزاد شده در ترکیب با اکسیژن و آب تشکیل اسید سولفوریک می‌دهد. اسید تولید شده طی این فرآیند عامل اصلی جانشینی کائولینیت به جای سریسیت و ایلیت است. در این فرآیند، فلزات قلیایی و قلیایی خاکی از ساختار سریسیت و ایلیت شسته شده و به خارج از محیط واکنش منتقل می‌شوند. واکنش زیر بیانگر چگونگی تشکیل کائولینیت به جای سریسیت است [۲۰]:



$$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 \text{ [Sericite]} + H^+ + 1.5\ H_2O \leftrightarrow 1.5\ Al_2Si_2O_5(OH)_4 \text{ [Kaolinite]} + K^+ \quad (۱)$$

در شکل ۷، تجمعات کانیایی در ذخیره تخت‌گنبد نمایش داده شده است.




**شکل ۵** تصاویر میکروسکوپی، مزوسکوپیکی و صحرایی از انواع رگه-رگچه‌های کانه‌دار سامانه کانی‌سازی تخت‌کنبد: الف) رگه-رگچه‌های کانی-سازی شده با بافت داربستی، ب) رگه‌های ضخیم کوارتزی در گستره گودال معدن، پ) قطع شدگی رگه‌های کوارتزی توسط رگه‌های کربناتی مرحله آخر، کلسیت (Cal) و کوارتز (Qz) (نور عبوری XPL)، ت) رگه-رگچه‌های کوارتز (Qz) + مگنتیت (Mag) ± کالکوپیریت (Ccp) (نور بازتابی PPL)، ث) رگه- رگچه‌های کوارتز (Qz) + کالکوپیریت (Ccp) ± مگنتیت (Mag) (نور بازتابی PPL) و ج) تقدم و تأخر رگه-رگچه‌های کوارتزی کانی‌سازی شده در سامانه کانی‌سازی تخت‌گنبد (نور بازتابی XPL). نشانه های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۹] هستند.




**شکل ۶** تصاویر صحرایی از برونزدهای پهنه‌های کانه‌زایی: الف) کانی‌سازی مس طبیعی همراه با رگه‌های کوارتزی ضخیم در سامانه کانی‌سازی تخت‌گنبد. ب) منطقه اکسیدی (بیشتر هماتیت و گوتیت) در بخش‌های سطحی و کم عمق سامانه تخت‌گنبد، دید به سمت غرب و پ) کانی‌سازی ثانویه مالاکیت- آزوریت در نمونه‌های معدنی تخت‌گنبد.


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.4.1 ]
[ DOI: 10.52547/ijcm.29.1.35 ]

| کانی | سنگ میزبان | دگرگونی مجاورتی | مرحله درونزاد | | | مرحله برونزاد |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | رگه- رگچه‌ای کوارتزی | رگه‌ای کوارتزی | رگه- رگچه‌ای کربناتی | |
| پلاژیوکلاز | | | | | | |
| آمفیبول | | | | | | |
| کوارتز | ۱ | | ۲-۳، ۲-۲، ۲-۱ | ۳ | | |
| اورتوکلاز | | | | | | |
| بیوتیت | | | | | | |
| پیروکسن | | | | | | |
| گارنت | | | | | | |
| زوئیزیت | | | | | | |
| سریسیت | | | | | | |
| کلریت | | | | | | |
| اپیدوت | | | | | | |
| ایلیت | | | | | | |
| کلسیت | | | | | | |
| دولومیت | | | | | | |
| مگنتیت | | | | | | |
| کالکوپیریت | | | | | | |
| پیریت | | | | | | |
| مالاکیت | | | | | | |
| آزوریت | | | | | | |
| بورنیت | | | | | | |
| مس طبیعی | | | | | | |
| هماتیت | | | | | | |
| گوتیت | | | | | | |

**شکل ۷** توالی پاراژنزی کانی‌های کانسنگی و باطله در سامانه کانی‌سازی تخت‌گنبد.

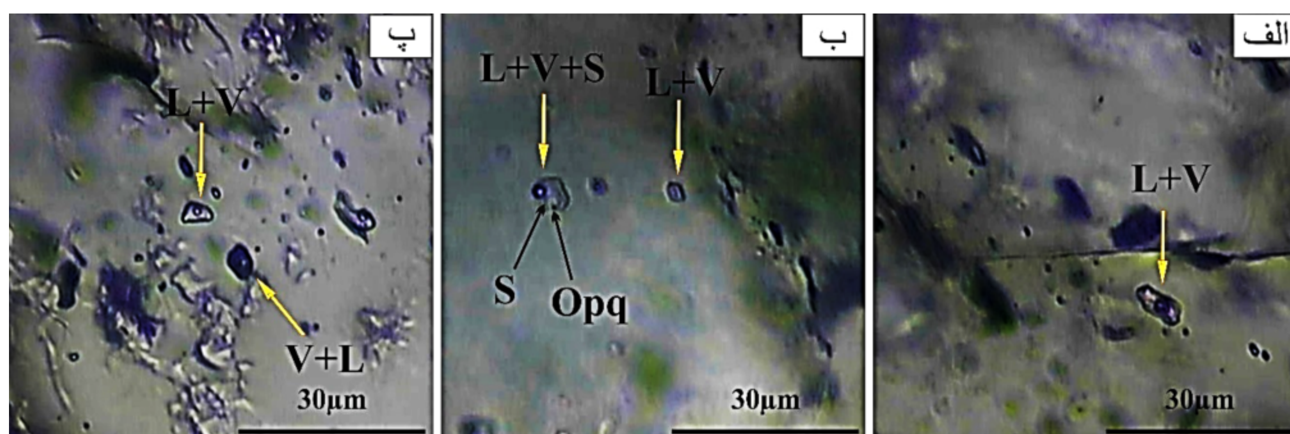
**بررسی‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال**

بررسی میانبارهای سیال امروزه به ابزاری قدرتمند برای تعیین شرایط تشکیل و نوع کانی‌سازی در سامانه‌های گرمابی از جمله ذخایر پورفیری و فراگرمایی تبدیل شده است [۲۸، ۲۹]. در این پژوهش، از بررسی میانبارهای سیال برای شناسایی نوع، درجه شوری و دمای سیال گرمابی در زمان کانی‌سازی استفاده گردید. برای بررسی میانبارهای سیال در سامانه کانی‌سازی مس تخت‌گنبد از رگه-رگچه‌های کوارتزی کانی‌سازی شده (نسل دوم) با بافت داربستی و رگه‌های ضخیم قطع کننده دگرسانی فیلیک استفاده شد. رگه – رگچه‌های کوارتزی نسل دوم به علت ضخامت مناسب و شباهت با رگه – رگچه‌های نسل سوم برای ریزدماسنجی انتخاب شدند. از طرفی، ضخامت بسیار کم رگه- رگچه‌های نسل اول مانعی برای بررسی دقیق میانبارهای این نسل است. دو مقطع دوبر صیقل از رگه-رگچه-های داربستی و دو مقطع دوبر صیقل از رگه‌های ضخیم کوارتزی (مرحله دوم درونزاد، شکل ۷) ریزدماسنجی شدند که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده‌اند.

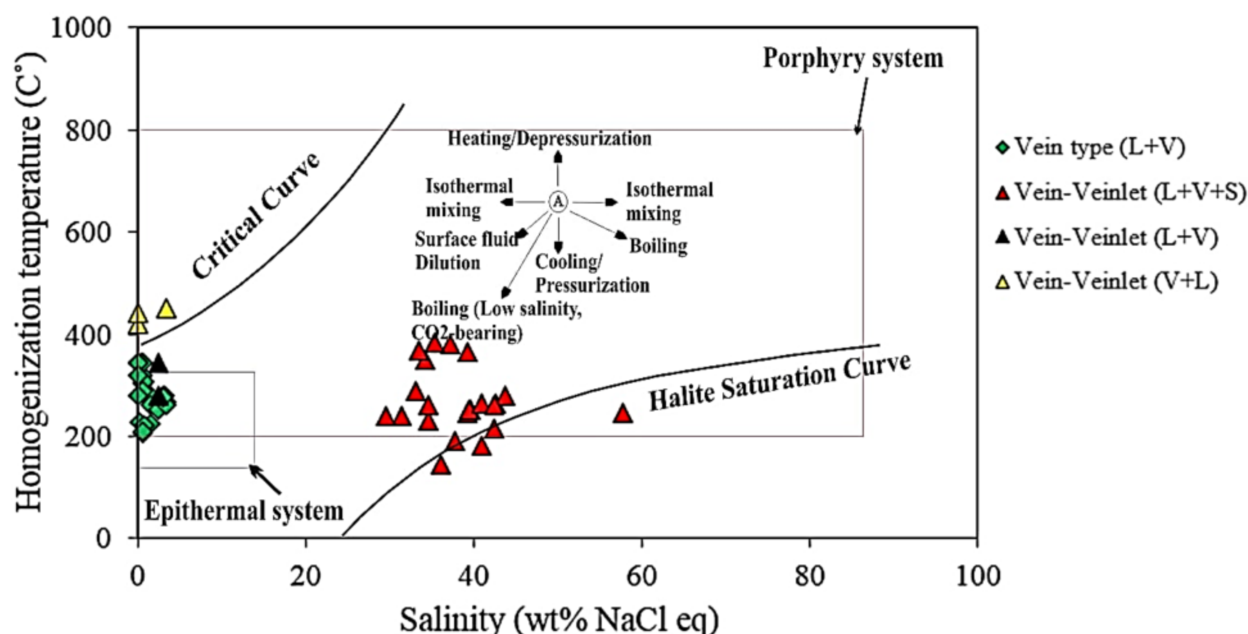
بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، میانبارهای سیال اولیه با میزبان کوارتز در رگه‌های کوارتزی ضخیم دارای اندازه‌هایی متغیر از ۵ تا ۱۵ میکرومتر بوده و از نوع اولیه (مایع – گاز) L+V هستند (شکل ۸ الف). این میانبارها اغلب دارای شکل-های چند وجهی نامنظم هستند. نبود فازهای نوزاد در این میانبارها بیانگر درجه شوری به نسبت پائین سیال‌های مسؤول کانه‌زایی در این رگه‌ها هستند [۳۰].


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.4.1 ]
[ DOI: 10.52547/ijcm.29.1.35 ]

میانبارهای بررسی شده در رگه- رگچه‌های کوارتزی داربستی نیز از نوع اولیه بوده و دارای اندازه‌هایی متغیر از ۶ تا ۱۸ میکرومتر هستند. براساس بررسی انجام شده در مرکز تحقیقات مواد معدنی کرج (ایمیدرو)، اغلب میانبارها از نوع مایع-گاز-جامد (L+V+S) بوده و دارای فازهای نوزاد هالیت (بلور مکعبی شکل درون میانبارها) هستند (شکل ۸ ب). از دیگر فازهای نوزاد همراه با این میانبارها می‌توان به سیلویت و کانی‌های تیره اشاره نمود (شکل ۹ ت). سیلویت در مقایسه با هالیت و کانی‌های تیره فراوانی کمتری دارد. حضور فراوان هالیت در میانبارهای بررسی شده بیانگر شوری بالا (بیش از ۳۰٪) سیال‌های کانی‌ساز در زمان تشکیل رگه- رگچه‌های داربستی کوارتزی است. میانبارهای V+L و L-V (شکل ۸ پ) نیز میانبارهای L+V+S را همراهی می‌کنند. بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، این میانبارهای سیال بیشتر به صورت شکل‌های منفی بلور کوارتز هستند (شکل ۸ ب).




**شکل ۸** انواع میانبارهای سیال مورد بررسی در سامانه کانی‌سازی تخت‌گنبد: الف) میانبارهای مایع + گاز (L+V) در رگه‌های کوارتزی ضخیم، ب و پ) میانبارهای مایع + گاز + جامد (L+V+S)، مایع + گاز (L+V) و گاز + مایع تا گاز (V+L, V) در رگه- رگچه‌های کوارتزی داربستی کانه‌دار.




**شکل ۹** توزیع میانبارهای سیال مورد بررسی در نمودار دو متغیره دمای همگنی نسبت به شوری [۲۹، ۳۱].

بر اساس نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال رگه‌های کوارتزی ضخیم، دمای همگنی (Th) و دمای نخستین ذوب یخ (Te) آنها به ترتیب در گستره ۲۰۷ تا ۳۴۴ و ۲۱- تا ۳۰- درجه سانتی‌گراد قرار دارند. دمای آخرین ذوب یخ این میانبارها ۰/۲- تا ۲- درجه سانتی‌گراد بوده که معادل شوری ۰/۳۵ تا ۳/۳۹ درصد وزنی معادل نمک طعام است (جدول ۲). دمای همگنی به نسبت کم و شوری پایین (مشابه سامانه‌های فراگرمایی) می‌تواند در اثر ورود احتمالی سیال‌های جوی به سامانه گرمابی تخت‌گنبد در مراحل آخر تکامل آن باشد. بر این اساس، آمیختگی و کاهش دما را می‌توان به عنوان دو پدیده احتمالی ته‌نشست در مراحل آخر تکامل سامانه گرمابی تخت-گنبد در نظر گرفت.

ریزدماسنجی میانبارهای سیال رگه- رگچه‌های داربستی کانی‌سازی شده در سامانه تخت‌گنبد نشان داده که دمای همگنی در گستره ۱۴۶ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد است. دمای همگنی انواع میانبارهای L+V+S، L+V و V+L به ترتیب در گستره‌های ۱۴۶ تا ۳۸۳، ۲۷۸ تا ۳۴۵ و ۴۲۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است (جدول ۲). شوری بدست آمده با توجه به دمای آخرین ذوب یخ برای میانبارهای V+L حدود ۳/۳۹ درصد وزنی و برای میانبارهای L+V حدود ۲/۵۷ درصد وزنی معادل نمک طعام است (جدول ۲).

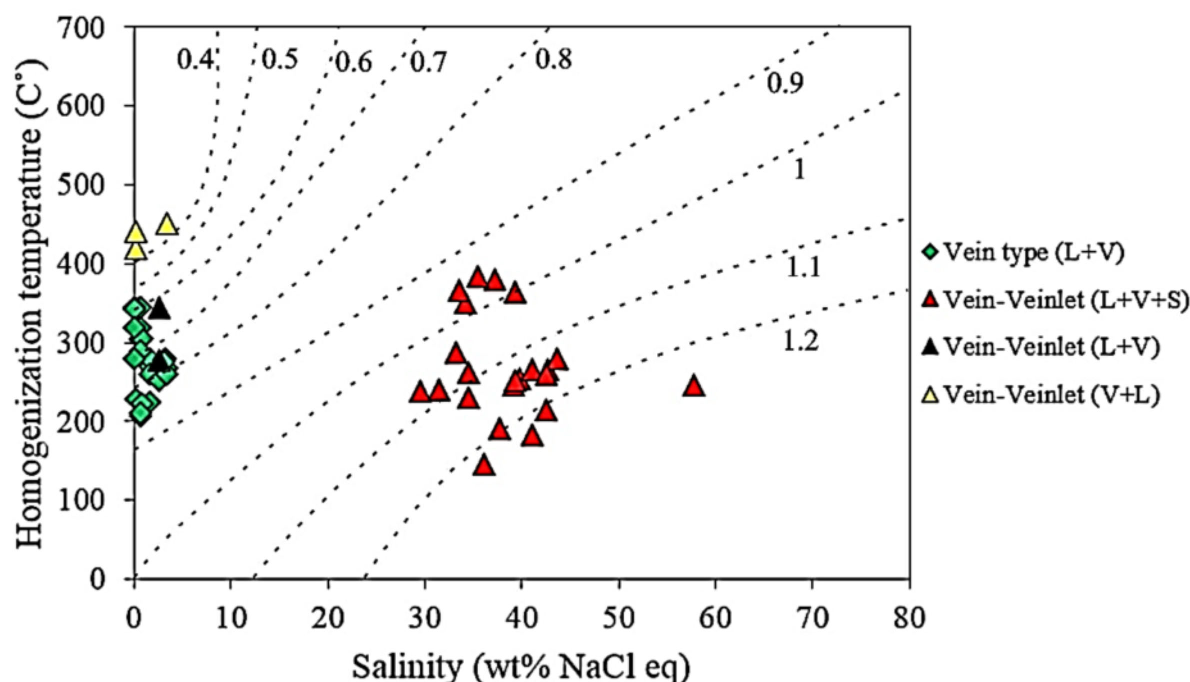
دمای انحلال هالیت در میانبارهای چندفازی L+V+S در گستره ۱۳۸ تا ۴۸۶ درجه سانتی‌گراد، معادل شوری ۲۹/۲ تا ۵۷/۸ درصد وزنی معادل نمک طعام است. با توجه به حضور هالیت و ثبت دمای انحلال آن، میزان شوری بر اساس آخرین دمای انحلال هالیت محاسبه گردید. در بسیاری از موارد، دمای همگنی میانبارهای چند فازی کمتر از دمای انحلال فاز جامد نمک است که می‌تواند بیانگر اشباع‌شدن احتمالی سیال و تشکیل بلورهای ریز هالیت پیش از به دام افتادن سیال باشد [۳۰]. چنین شوری بالایی طی حبس شدن سیال‌های گرمابی و همراهی انواع سیال‌های درگیر L+V، V+L، V و L+V+S احتمال رخداد پدیده جوشش به عنوان یکی از مهمترین عوامل ته‌نشست کانی‌های کانسنگی از سیال‌ها را تقویت می‌کند [۲۹، ۳۰]. از طرفی، همراهی میانبارهای چند فازی با شوری بالا با میانبارهای نوع L+V و V+L به ترتیب با همگنی به فاز مایع و بخار با شوری کم (گاهی تا نزدیک ۰/۳۵ درصد وزنی معادل نمک طعام) احتمال رخداد فرآیند جوشش در سامانه گرمابی تخت‌گنبد را تقویت می نماید. به نظر می‌رسد که طی جوشش، سیال‌های کانی‌ساز فاز بخار جدا شده از سیال میانبارهای با شوری کم و از نوع V+L و L+V را تشکیل داده‌اند. این در حالی است که سیال باقی مانده از نظر شوری غنی شده است و میانبارهای نوع L+V+S از این سیال شور و با چگالی بالا شکل گرفته‌اند [۲۹، ۳۰].

توزیع فراوانی میانبارهای سیال مورد بررسی در رگه‌های کوارتزی ضخیم و رگه- رگچه‌های داربستی سامانه کانی‌سازی تخت‌گنبد بر نمودار شوری نسبت به دمای همگنی ارائه شده است (شکل ۹). بر اساس این نمودار، به نظر می رسد که آمیختگی و کاهش دما مهمترین عوامل اثرگذار در ته‌نشست رگه‌های کوارتزی ضخیم در مراحل آخر فرآیند کانی‌سازی در سامانه گرمابی تخت‌گنبد بوده‌اند. در واقع، به نظر می‌رسد که جوشش عامل مهمی در بی‌ثباتی کمپلکس‌های حمل کننده (از جمله کمپلکس‌های کلریدی) فلزات کانسنگی مثل مس بوده باشد. افزون بر این، حضور دو جمعیت مجزا از میانبارهای سیال از نظر شوری، احتمال رخداد پدیده جوشش را قوت می‌بخشد (شکل ۹). قرارگیری بعضی از میانبارهای سیال در گستره ابر اشباع هالیت (چنان که پیشتر نیز بیان شد) نشان دهنده تشکیل هالیت در سیال‌های کانی‌ساز در حال جوشش کمی پیش از به دام افتادن است [۳۰]. توزیع فراوانی دمای همگنی نسبت به شوری میانبارهای سیال بررسی شده نشان دهنده جای گرفتن سامانه گرمابی تخت‌گنبد در گستره ذخایر پورفیری و فراگرمایی است (شکل ۹).

بر اساس نمودار دومتغیره دمای همگنی نسبت به شوری [۳۱]، چگالی میانبارهای سیال بررسی شده در رگه-رگچه‌های کوارتزی داربستی کانه‌دار در گستره ۰/۹ تا بیش از ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و در رگه‌های ضخیم کوارتزی ۰/۵ تا ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. چگالی بالا در میانبارهای سیال بررسی شده در رگه-رگچه‌های کوارتزی (شکل ۱۰)، گاهی بیش از ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب (تشکیل هالیت پیش از به دام افتادن)، مربوط به شوری بالای سیال‌های کانی‌ساز و ناشی از رخداد جوشش در سیال‌های با خاستگاه ماگمایی است. چگالی پایین میانبارهای سیال بررسی شده در رگه‌های کوارتزی ضخیم (شکل ۱۰) می‌تواند در اثر آمیختگی آب‌های زیر زمینی با خاستگاه جوی با سیال‌های گرمابی ماگمایی در مراحل پایانی تکامل سامانه گرمابی تخت‌گنبد باشد.


[ DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.4.1 ]
[ DOI: 10.52547/ijcm.29.1.35 ]

[ DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.4.1 ]
[ DOI: 10.52547/ijcm.29.1.35 ]




**شکل ۱۰** توزیع فراوانی یافته‌های میانبارهای سیال بررسی شده در سامانه کانی‌سازی مس تخت‌گنبد بر نمودار دو متغیره دمای همگنی نسبت به شوری همراه با تغییرات چگالی (خطوط نقطه چین) [۳۱].

**برداشت**

۱- کانی‌سازی درونزاد و برونزاد مس تخت‌گنبد توسط توده میکروگرانودیوریت پورفیری الیگوسن- میوسن و واحدهای سنگی خروجی ائوسن از جمله توف و آگلومرا با ترکیب حدواسط با میان لایه‌هایی از واحدهای رسوبی تخریبی میزبانی می‌شوند.

۲- کانی‌سازی به ترتیب به صورت رگه-رگچه‌ای کوارتزی داربستی، رگه‌ای کوارتزی و رگه-رگچه‌ای کربناتی گسترش یافته است. رگه- رگچه‌های کوارتزی داربستی خود طی سه مرحله تشکیل شده‌اند که آنهای وابسته به هر یک از مراحل اول، دوم و سوم به ترتیب دربردارنده مجموعه کانی‌های کوارتز + مگنتیت ± کالکوپیریت، کوارتز + کالکوپیریت + پیریت + مگنتیت، و کوارتز + پیریت + کالکوپیریت هستند.

۳- گسترش بافت داربستی، حضور دگرسانی فیلیک، حضور میانبارهای سیال شامل فازهای جامد نمک طعام، سیلویت و کانی تیره همزاد با میانبارهای غنی از مایع و غنی از گاز، و شوری بالا در برخی از میانبارهای بررسی شده بیانگر اثر سیال-های گرمابی با خاستگاه بیشتر ماگمایی در گسترش رگه-رگچه‌های کوارتزی داربستی کانه‌دار است.

۴- حضور میانبارهای سیال غنی از مایع با شوری کم در رگه-های کوارتزی ضخیم می‌تواند بیانگر ورود سیال‌های جوی به سامانه کانی‌سازی مس تخت‌گنبد طی مراحل پایانی تکامل سامانه گرمابی باشد.

۵- بر اساس بررسی میانبارهای سیال، پدیده جوشش عامل شکل‌گیری رگه-رگچه‌های کوارتزی داربستی، و پدیده‌های آمیختگی و سردشدگی عوامل نهشت کانی‌های کانسنگی و باطله در رگه‌های کوارتزی ضخیم در سامانه کانی‌سازی مس تخت‌گنبد هستند.

۶- بر اساس شواهد نوع سنگ میزبان، دگرسانی، شکل کانی-سازی، نوع کانه‌ها و ویژگی‌های سیال‌های مؤثر در کانی‌سازی، ذخیره مس تخت‌گنبد از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی-سازی به سامانه‌های مس پورفیری شباهت دارد.

**قدردانی**

نگارندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه برخوردار بوده‌اند، که به این وسیله سپاس خود را از مسؤولین

اعلام می‌دارند. نگارندگان همچنین، از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

**مراجع**


[1] Shafiei B., *"Two distinct occurrences in Palaeogene magmatic of Cenozoic magmatic arc of the Kerman: Geochemical characteristics and rock-forming processes",* Journal of Sciences, University of Tehran 36 (2010) 137-156 (in Persian).

[2] Naimi- Ghasabian N., Khatib M. M., Nazari H., Heyhat M. R., *"Present- day tectonic regime and stress patterns from the formal inversion of focal mechanism data, in the North of Central- East Iran blocks",* Journal of African Erath Sciences 111 (2015) 113-126.

[3] Stocklin J., *"Structural history and tectonic of Iran: A review",* American Association of Petroleum Geologists Bulletin USA 52 (1968) 1229-1258.

[4] Dimitrijevic M. D., "*1:100000 geological map of the Chahar Gonbad*", Geological Survey of Iran (1973).

[5] Atapour H., Aftabi A., "*Geochemistry and metallogeny of calc-alkaline, shoshonitic and adakitic igneous rocks associated with porphyry Cu-Mo and vein type deposits of Dehaj-Sarduieh volcano-plutonic belt, Kerman*", Geosciences 18 (2009) 161-172.

[6] Behpour S., Moradian A., Ahmadipour H., "*Application of amphibole and plagioclas mineral chemistry for studing of Jebal-E-Barez granitoid genesis and geothermobarometry (Kerman province, Bam)*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 26 (2018) 751-766.

[7] Salehinejad H., Ahmadipour H., Moeinzadeh H., Moradian A., *"Using mineral chemistry for determination of crystalization conditions and tectonic setting of diabasic intrusive rocks from Deh-Zahir area (west of rafsanjan)",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (2019) 809-820.

[8] Aghanabati S.A., *"Geology of Iran",* Geological Survey of Iran (2004) 1-606 (in Persian).

[9] Ahmadi S., Tahmasbi Z., Ahmadi Khalaji A., Zal F., *"Mineral chemistry of tourmaline in Lalezar granite mass (Kerman province",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 26 (2019) 975-988.

[10] Salehi Tinooni M., Abedini A., Calagari A. A., *"Investigation of mineralization, REE geochemistry, and fluid inclusions studies of the Shalang vein-type pollymetalic ore deposit, south of Kerman",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 274 (2019) 767-780.

[11] Nedimovic R.,*"Exploration for ore deposits in Kerman Region"*, Geological Survey of Iran, Report No.53 (1973) 1-274.

[12] Ghorbani M., *"The economic geology in Iran: Mineral deposits and natural resources",* Springer Science Business Media, Dordrecht (2013) 1-581.

[13] Mining Company of Zamin Pajouhan., quot, *"Geological map of the Takht-e Gonbad copper deposit, Sirjan, scale 1:1000&quot*", Internal Reports (2010) 1-180 (in Persian).

[14] Sirjan Takht-e-Gonbad Copper Company., *"Report of geological map of the Takht-e-Gonbad district mine",* (2010) 1-102 (in persian).

[15] Khan-Nazer N. H., "*Geological map of the Chahar-Ghonbad (1:100000 scale)*", Geological Survey of Iran (1994).

[16] Dimitrijevic M. D., *"geological map of the Chahar Gonbad (1:100000 scale)",* Geological Survey of Iran (1973).

[17] Fazlnia A., "*Petrography and petrology of the Chahar-Ghonbad intrusive masses*", MSc Thesis, University of Shahid Bahonar, Kerman, Iran (2000) 1-180 (in Persian).

[18] Anssary A. H., Sheikh Zakariaii S. J., Dargahi S., Arvin M., "*Petrology and Geochemical properties of the Granitoid Complex of the Chahar-Gonbad, Southeast Iran"*, Open Journal of Geology 7 (2017) 847-858.

[19] Whitney D. W., Evans B. W., "*Abbreviations for names of rock forming minerals*", American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[20] Shahabpour J., *"Economic Geology"*, Publications of Shahid Bahonar University of the Kerman (2005) 1-544 (in Persian).

[21] Watanabe Y., Sato R., Sulaksono A., *"Role of potassic alteration for porphyry cu mineralization: Implication for the absence of porphyry Cu deposits in Japan"*, Resource Geology 68 (2018) 195-207.



[ DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.4.1 ]
[ DOI: 10.52547/ijcm.29.1.35 ]

Economic Geology 100th Anniversary Volume (2005) 251-298.

[27] U. S. Geological Survey., *"Preliminary model of porphyry copper deposits",* Open File Report 1321 (2008) 1-62.

[28] Pirajno F., *"Hydrothermal processes and mineral systems",* Springer (2009) 1-1243.

[29] Wilkinson J. J., "*Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits*", Lithos 55 (2001) 229-272.

[30] Shapherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M., "*A practical guide to fluid inclusion studies*", Blackie, Glasgow (1985) 1-239.

[31] Roedder E., Bodnar R. J., "*Geologic pressure determinations from fluid inclusions studies*", Earth and Planetary Science Letters 8 (1980) 263-301.

[22] Hosseini M., Ghaderi M., Alirezaei S., *"Types of vein-veinlet systems and their relationship with mineralization in the Takht-e-Gonbad ore deposit, northeast of Sirjan*", 15th Symposium of Iranian Geological Association, Teacher Training University of Tehran (2011).

[23] Sillitoe R. H., *"Porphyry copper systems",* Economic Geology 105 (2010) 3-41.

[24] Gustafson L. B., Hunt J. P., *"The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile",* Economic Geology 70 (1975) 857-912.

[25] Robb L. J., *"Introduction to ore-forming processes",* Blackwell Publishing (2005) 1-373.

[26] Seedorff E., Dilles J. H., Proffett J. M., Einaudi M. T., Zurcher L., Stavast W. J. A., Johnson D.A., Barton M.nD.,*"Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features",*